

УДК 681.382.2

P-I-N СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ GaAs ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю.В. Жилияев, Д.И. Микулик, Т.А. Орлова, В.Н. Пантелеев, Н.К. Полетаев,
С.А. Сныткина, Л.М. Федоров

Исследованы характеристики полупроводниковых эпитаксиальных p-i-n структур на основе GaAs, выращенных методом газовой эпитаксии. Разработаны новые условия эпитаксиального роста, позволяющие изготовить «толстые» слои чистого GaAs в рамках одного процесса.

Ключевые слова: p-i-n структуры, GaAs, ХГФЭ, детектор рентгеновского излучения.

В области энергий фотонов рентгеновского излучения 10–100 кэВ перспективно применение материала GaAs. Данная работа заключалась в изготовлении арсенид галлиевых p-i-n структур высокого качества, подходящих для дальнейшего производства на их основе детекторов рентгеновского излучения. Все полупроводниковые структуры были получены в кварцевом реакторе методом хлоридной газовой эпитаксии (ХГФЭ) стандартным образом. В экспериментах использовался горизонтальный реактор проточного типа с резистивной системой нагрева, позволяющей соблюдать требуемый температурный режим и в зоне источника (800°C), и в ростовой зоне (730–760°C). Источником мышьяка являлся материал AsCl₃, переносимый в реактор потоком водорода. В зоне источника находилась лодочка с металлическим галлием.

Подложки «epi-ready» GaAs p⁺-типа, легированные Si, с концентрацией 10¹⁸ см⁻³ имели размер 5×10 см² и толщину 300 мкм. Процесс роста в реакторе включал в себя две стадии: 1) рост основного чистого толстого (до 200 мкм) n⁰-слоя GaAs с концентрацией основных носителей 10¹¹–10¹³ см⁻³; 2) рост p⁺-слоя GaAs, легированного Zn, толщиной 1–3 мкм и концентрацией на уровне 10¹⁸ см⁻³. В качестве i-слоя детекторной структуры использовался слаболегированный n⁰-GaAs слой с максимально низкой концентрацией донорной примеси. В результате серии опытов были получены структуры с зеркально-гладкой поверхностью. Толщина активного n⁰-слоя варьировалась от 150 до 250 мкм в зависимости от задания условий роста, толщина p⁺-слоя GaAs составляла порядка 1 мкм.

Применение дополнительного потока AsCl₃ позволило практически полностью устранить продольный клин по толщине, появляющийся в горизонтальном реакторе. Неравномерность толщины в пределах подложки составила 10–20 мкм. Кроме этого, удалось достичь средней скорости роста GaAs 10 мкм/ч, а длительность ростового процесса увеличили до 20–25 часов.

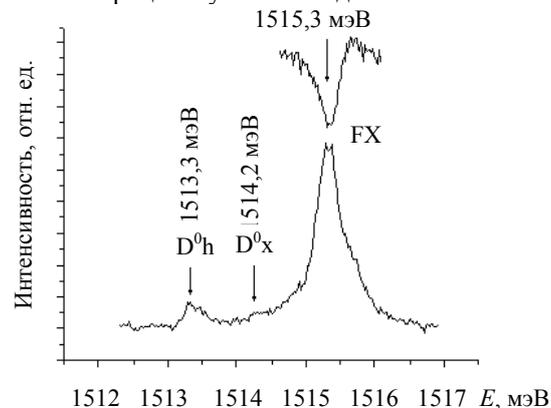


Рисунок. Спектр фотолюминесценции n⁰-GaAs слоя

Измерения фотолюминесценции n⁰-слоя осуществлялись с помощью He-Ne-лазера при температуре 2 К (рисунок). Этот метод диагностики хорошо зарекомендовал себя в прошлых работах [J]. Соотношение интенсивностей спектральных линий позволяет оценить концентрацию остаточных примесей в материале и дает значение $N_D - N_A = 10^{11}$ см⁻³. Для определения концентрации свободных носителей в n⁰-GaAs слое использовались вольт-фарадные измерения. Полученные этим методом значения составляли менее 10¹² см⁻³, что согласуется с измерениями фотолюминесценции и соответствует требованиям, предъявляемым к чистоте активных слоев для рентгеновских детекторов выбранного типа.

По распределению интенсивности электролюминесценции в направлении, перпендикулярном плоскости p-n перехода, определена диффузионная длина носителей заряда (дырок), которая составила величину от 70 до 100 мкм.

На основе полученных арсенид галлиевых p-i-n структур изготовлены опытные образцы детекторов рентгеновского излучения. Энергетическое разрешение приборов составило около 600 эВ при энергиях поглощаемых фотонов 60 кэВ и 170 эВ при 5,9 кэВ соответственно.

[J]. Zhilyaev Yu.V., Poletaev N.K., Botnaryuk V.M., Orlova T.A., Fedorov L.M., Yusupova Sh.A., Owens A., Bavdaz M., Peacock A., Meara B.O., Helava H. Optical characterization of ultra-pure GaAs // Phys. Status Solidi (c). – 2003. – V. 0. – P. 1024–1027.

Жильев Юрий Васильевич – Физико-технический институт им. Иоффе, доктор физ.-мат. наук, профессор, zhilyaev@jyuv.ioffe.rssi.ru

Микулик Дмитрий Игоревич – Физико-технический институт им. Иоффе, мл. научн. сотр., dogged06@mail.ru

Орлова Татьяна Алексеевна – Физико-технический институт им. Иоффе, кандидат физ.-мат. наук, научн. сотр., shikina71@hotmail.com

Пантелеев Валерий Николаевич – Физико-технический институт им. Иоффе, научн. сотр., valnikran@mail.ru

Полетаев Николай Константинович – Физико-технический институт им. Иоффе, кандидат физ.-мат. наук, научн. сотр., poletaev@mail.ioffe.ru

Сныткина Светлана Александровна – Физико-технический институт им. Иоффе, научн. сотр., zhilyaev@jyuv.ioffe.rssi.ru

Федоров Леонид Михайлович – Физико-технический институт им. Иоффе, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотр., zhilyaev@jyuv.ioffe.rssi.ru